

# VU Research Portal

## Voorspellen is moeilijk... Het inschatten van het petroleumpotentieel

de Jager, J.

2011

### **document version**

Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link to publication in VU Research Portal](#)

### **citation for published version (APA)**

de Jager, J. (2011). *Voorspellen is moeilijk... Het inschatten van het petroleumpotentieel*. Vrije Universiteit Amsterdam.

### **General rights**

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal ?

### **Take down policy**

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

### **E-mail address:**

[vuresearchportal.ub@vu.nl](mailto:vuresearchportal.ub@vu.nl)

# Voorspellen is moeilijk...

HET INSCHATTEN VAN PETROLEUMPOTENTIEEL

Inaugurele rede uitgesproken op 3 november 2011

Bij de aanvaarding van het ambt van bijzonder hoogleraar

Regionale en Petroleum Geologie

*door*

Jan de Jager

*Mijnheer de Rector, dames en heren,*

Petroleumgeologen houden zich bezig met het zoeken naar en het produceren van petroleum (olie en gas). Exploratiegoologen zoeken nieuwe olie- en gasvelden. Productiegoologen proberen die olie- en gasvelden zo efficiënt mogelijk te produceren. Verreweg de meeste petroleumgeologen werken direct in de petroleumindustrie, een enkele is verdwaald op een academisch instituut. Petroleumgeologie is dan ook een uitgesproken voorbeeld van een toegepaste wetenschap; maar dat maakt het niet minder dan een wetenschap. Betrouwbare petroleumgeologie kan alleen worden beoefend met een uitstekende kennis en toepassing van aardwetenschappelijke principes. En omdat petroleumgeologen haast altijd moeten werken met incomplete, fragmentarische en onduidelijke gegevens van verschillende disciplines - gegevens die ook nog eens vaak op meerdere manieren interpreteerbaar zijn - wordt er daarnaast een groot beroep gedaan op hun creativiteit en vermogen om informatie uit verschillende disciplines te integreren tot een consistent geheel. Dat maakt het een fascinerend vak.

## **Voorspellingen in de Petroleumgeologie**

In de petroleumindustrie worden er op allerlei schaal voorspellingen gedaan over petroleum potentieel door geologen en door andere betrokkenen. Deze voorspellingen gaan dan vrijwel altijd over de kans dat er ergens olie of gas voorkomt, en over hoeveel dat dan kan zijn. Ik zal vandaag enkele van deze voorspellingen bespreken om te zien hoe deze voorspellingen in het algemeen uitkomen. De voorspellingen kunnen onderverdeeld worden in drie categorieën:

### **1. *Prospecten***

Een structuur in de ondergrond die mogelijk olie of gas bevat noemen we een prospect. Als we met een exploratieboring in zo'n prospect petroleum aantreffen, en het is genoeg om commercieel te exploiteren, dan spreken we van een olie- of gasveld. De kosten van een exploratieboring variëren van enkele miljoenen tot wel meer dan 100 miljoen euro, afhankelijk van waar zo'n boring wordt gedaan en tot welke diepte. Zo'n investering doe je niet zomaar. Voordat die investering gedaan wordt, bepalen exploratiegeologen de waarschijnlijkheid van succes: wat is de kans dat we een nieuw olie- of gasveld vinden? Daarnaast voorspellen ze hoe groot dat veld zou kunnen zijn.

### **2. *Geologische bekkens***

De echte hoofdprijs voor een exploratiegeoloog is met succes een nieuwe petroleumprovincie aan te wijzen: een gebied waar nog geen of niet veel petroleum is gevonden, en waar mogelijk nog veel onontdekte olie- en gasvelden zouden kunnen zijn. Voor de petroleumindustrie is het uiteraard van groot belang in een nieuw gebied de eerste te zijn die olie of gas vindt. Dat geeft een belangrijke voorsprong op de concurrentie. En er worden nog steeds belangwekkende vondsten gedaan in nieuwe gebieden. Dat zijn

vaak niet de makkelijkste gebieden, bijvoorbeeld in diep water, ver van de bewoonde wereld of in gebieden met moeilijke klimatologische omstandigheden. Dat zijn dan ook vaak gebieden waar het doen van een exploratieboring duur is en waar veel van de techniek wordt vereist.

### **3. Wereldwijde voorraden**

En dan is er de vraag hoeveel petroleum (olie en gas) er nog op de wereld is. Hoe lang kunnen we nog op olie en gas rekenen als bron van energie? Er zijn hierover tal van nogal uiteenlopende voorspellingen gedaan.

Ik wil niet pretenderen dat ik een pasklaar antwoord heb op vragen zoals hoeveel olie en gas er nog is. Ik wil vandaag vooral bespreken waarom ik denk dat voorspellingen soms zo uiteen lopen, en waarom het doen van voorspellingen in de petroleumgeologie niet makkelijk is.

## **Wereldwijde Olievoorraden**

Ik wil beginnen iets te zeggen over de voorspellingen van de wereldwijde petroleumreserves. Hierover is de laatste jaren regelmatig gepubliceerd, ook in onze nationale dagbladen, en er zijn tal van internetfora waar met veel passie standpunten worden ingenomen en verdedigd.

In 1956 voorspelde de Amerikaan Hubbert dat rond het jaar 2000 de olieproductie zou pieken, en daarna gestaag zou afnemen (figuur 1). Hij had gezien hoe de productie in de eerste helft van de twintigste eeuw exponentieel was toegenomen. Hij wist ook hoeveel olie er al was gevonden en hoeveel productie dat zou opleveren. En hij nam aan dat er nog bijna drie maal zo veel olie bij gevonden zou worden als er tot dan toe was gevonden. Op basis van die getallen en aannames berekende



hij dat de piek van de olieproductie omstreeks het jaar 2000 zou vallen, en dat daarna de productie gestaag zou afnemen. In 1972 kwam de Club van Rome in het rapport “Grenzen aan de groei” tot een soortgelijke voorspelling: de olieproductie zou na 2020 “drastisch omlaaggaan”. De oliecrisis van 1973, slechts een jaar, later versterkte de impact van deze voorspelling van de Club van Rome.

Het principe dat fossiele brandstoffen eindig zijn is uiteraard correct. Ik verwacht dan ook dat men in de toekomst terug zal kunnen kijken op een relatief korte periode in de geschiedenis, van misschien een paar

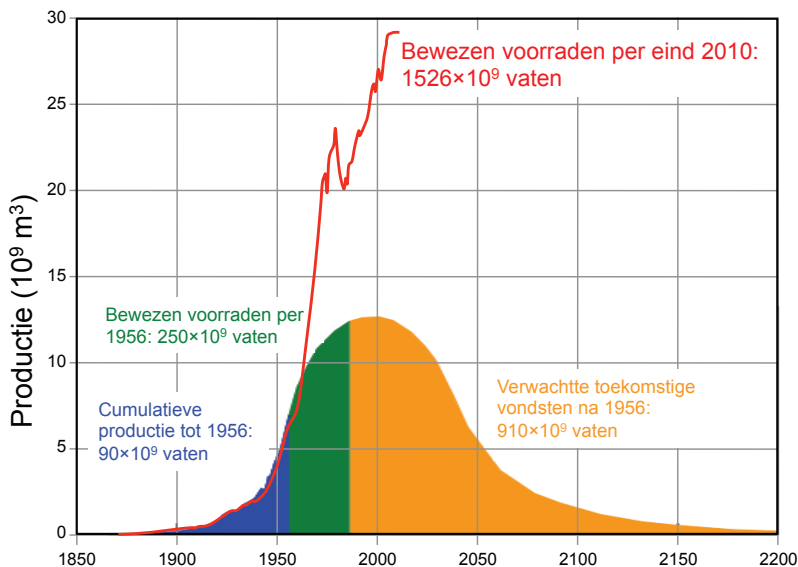


Fig. 1. In 1956 voorspelde Hubbert dat de olieproductie zou pieken rond het jaar 2000 en daarna gestaag zou afnemen (blauw: cumulatieve productie tot 1956, groen, verwachte productie uit gevonden olievoorraden, oranje, verwachte olieproductie uit olievondsten na 1956). De werkelijke olieproductie tot 2010 is aangegeven in de rode lijn. De bewezen olievoorraden in 2010 ( $1526 \cdot 10^9$  vaten) waren ruim 6 maal zo hoog als in 1956 ( $250 \cdot 10^9$  vaten; BP Statistical review of world energy, 2010).

honderd jaar, waarin olie en gas zo'n dominante rol speelde als energiebron. De vraag is echter of olie- en gasproductie zal afnemen omdat er niet meer voldoende is, of eerder dan dat omdat er goede alternatieven zijn. Men zegt wel dat ook het stenen tijdperk niet is afgelopen omdat er geen stenen meer waren. Hoe dan ook, inmiddels is wel gebleken dat Hubbert te behoudend was in zijn aannames. We zijn nu tien jaar na de voorspelde piek, en alhoewel de productie de laatste zes jaar vrij constant is gebleven, was de productie van vorig jaar (2010) wel de hoogste ooit. Waar Hubbert's voorspellingen vooral te conservatief zijn gebleken, is met het niveau van de maximale olieproductie: Hubbert dacht dat de piek op twaalf tot dertien miljard vaten olie per jaar zou liggen, en we produceren nu bijna dertig miljard vaten per jaar: ruim tweemaal zo veel als Hubbert voorspelde (figuur 1). Voorspellingen over het wereldwijde petroleumvoorraden zijn vaker te conservatief. Er blijken steeds weer andere manieren te zijn waarop olie en gas in de ondergrond voorkomen, soms op voorheen onvermoede plaatsen. Zo had Hubbert in de vijftiger jaren moeilijk kunnen veronderstellen dat we ooit olie en gas zouden vinden in goede zandsteenreservoirs in de diepzee aan de randen van de continenten, onder enkele kilometers water. En hij had evenmin kunnen vermoeden dat we olie en gas van die plekken zouden kunnen produceren. Dankzij de steeds toenemende kwantiteit en kwaliteit van gegevens van de ondergrond en de creativiteit van petroleumgeologen vinden we die nieuwe velden, en dankzij technologische ontwikkelingen kunnen we ze produceren, ook van plaatsen van waar dat voorheen ondenkbaar leek.

De bewezen olievoorraden per eind 2010 zijn ongeveer 1500 miljard vaten: dat is zes maal zo veel als de 250 miljard vaten van bewezen voorraden in 1956. En de grootte van de bewezen voorraden neemt nog elk jaar toe. Alleen voorraden waarvan in alle redelijkheid aangenomen

kan worden dat ze winstgevend ontwikkeld kunnen worden mogen als bewezen voorraden worden aangemerkt. Al 25 jaar wordt elk jaar geconcludeerd dat er nog genoeg olie is voor zo'n 40 jaar productie. Ook afgelopen jaar weer. In de laatste 25 jaar zijn de bewezen olievoorraden dus even hard gegroeid als de wereldproductie. Daarnaast zijn er nog olievoorkomens die momenteel nog niet rendabel ontwikkeld kunnen worden. Die worden nog niet tot de bewezen reserves gerekend. Als die in de toekomst door hogere olieprijsen of technologische vooruitgang wel winstgevend kunnen worden geproduceerd, dan wordt ook dat weer bij de bewezen voorraden opgeteld.

De hoeveelheid olie in de ondergrond is enorm groot. Uit de meeste velden produceren we slechts enkele tientallen procenten van de aanwezige olie. Er blijft veel olie achter: olie die op dit moment niet met winst gewonnen kan worden. Technologische ontwikkelingen en hogere olieprijsen maken het mogelijk om een groter deel van de olie te produceren dan voorheen. Dit is een belangrijke reden van de nog steeds toenemende bewezen olievoorraden. Een voorbeeld hiervan is het grote Nederlandse Schoonebeek olieveld. De productie van dit veld was in 1996 gestaakt omdat het veld onrendabel werd. Dit jaar (2011) is de productie hervat. Hogere olieprijsen en verbeterde technieken maken het nu mogelijk om naar verwachting nog meer dan 100 miljoen vaten extra te produceren.

De laatste vijf of zes jaar is de olieproductie nauwelijks toegenomen. Dit wordt door sommigen gezien als een aanwijzing dat we op de productiepiek zitten en dat de productieafname elk moment kan beginnen. Daar wil ik tegenin brengen dat het niet zo is dat de productie nauwelijks stijgt omdat er niet meer olie geproduceerd kan worden, de productie is in balans met de vraag: de vraag is de laatste jaren niet erg gestegen. Dat

allemaal neemt niet weg dat er ooit een eind aan deze toename van de olievoorraden moet komen. Dat zou nog wel eens verder weg kunnen zijn dan de meer pessimistische voorspellers menen. Maar veel later dan over enkele decennia van nu lijkt me toch wel onwaarschijnlijk.

## **Aardgas!**

Naast olie is gas de laatste decennia wereldwijd een steeds belangrijkere rol gaan spelen als fossiele brandstof. Tot niet al te lang geleden was op veel plaatsen het vinden van gas alleen interessant als er bijzonder grote volumes gevonden werden. In exploratie werd gesproken over een ‘gasrisico’: het risico om gas te vinden in plaats van olie. Dat is veranderd: aardgas is een gewenste en gezochte vorm van fossiele brandstof geworden. En er lijkt nog heel veel van te zijn. Op het World Energy Congres van september 2010 in Montreal, sprak Peter Voser, CEO van Shell, over aardgas als een “overvloedige, betaalbare en schone bron van energie”. Hij sprak daarbij ook van “een revolutie in de levering van aardgas”, voornamelijk het gevolg van de productie van zogenaamd niet-conventioneel gas in noord Amerika. En in een NRC-interview van oktober 2009 heeft hij voorspeld dat we deze eeuw geen tekort aan fossiele brandstoffen zullen hebben, ook al voornamelijk door de grote hoeveelheid aardgas die er nog is.

Nederland is met zijn grote Groningen gasveld (één van de allergrootste gasvelden op de wereld!) al vanaf het begin van de zestiger jaren zelfvoorzienend wat aardgas betreft. Hoe zit het met de voorspellingen over de Nederlandse voorraden en productie? Het Ministerie van Economische Zaken publiceert elk jaar een zeer nuttig en compleet overzicht over de activiteiten en ontwikkelingen van aardgas en olie in Nederland. Daarin worden ook prognoses gemaakt van hoeveel aardgas

er nog te vinden is. In 1991 werd er voorspeld dat er nog tussen de 220 en 425 miljard kubieke meter aardgas te vinden zou zijn (figuur 2). Na 1991 is er tot nu toe maar liefst 434 miljard kubieke meter nieuw aardgas gevonden. Meer dan het in 1991 geschatte maximale potentieel. Hierbij moet wel de kanttekening gemaakt worden dat deze voorspellingen van het Ministerie van Economische Zaken over hoeveel aardgas er nog te vinden is in Nederland met opzet enigszins conservatief zijn omdat zij gebruikt worden voor het afsluiten van gasleveringscontracten. De voorspelling moet dus een grote mate van waarschijnlijkheid hebben.

Het geschatte nog onontdekte aardgaspotentieel in Nederland per eind 2010 is minimaal 140 tot maximaal 350 miljard kubieke meter. Dat is slechts iets minder dan het in 1991 was. Energie Beheer Nederland (EBN)

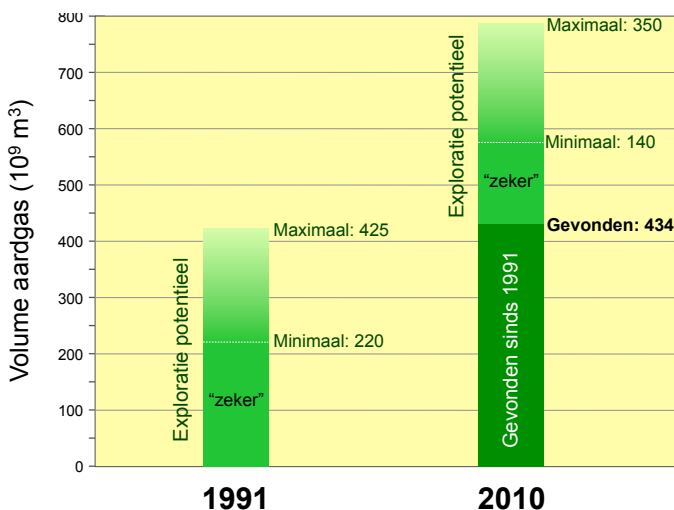
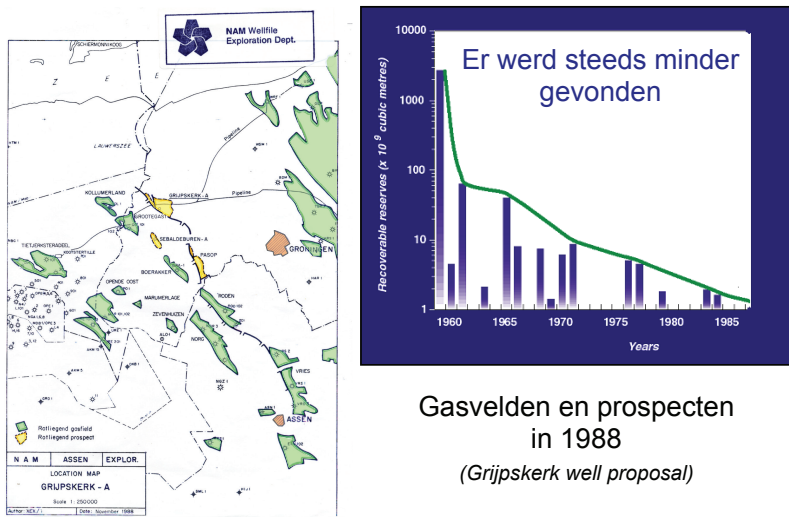


Fig. 2. In 1991 was de verwachting dat er in Nederland nog 220 tot 425 miljard  $\text{m}^3$  gas gevonden zou worden. Vanaf 1991 tot 2010 is er nog 434 miljard  $\text{m}^3$  gas gevonden, terwijl de verwachting vanaf eind 2011 is dat er nog 140 tot 350 miljard  $\text{m}^3$  gas te vinden is (gebaseerd op Ministerie van Economische zaken, 2011).

spreekt over een verwachtingsvolume van meer dan 400 miljard kubieke meter. Het lijkt wel of het niet op kan. Dat het resterende potentieel slechts zo langzaam minder wordt, ondanks de nieuwe gasvondsten, komt doordat er steeds maar weer nieuwe prospecten werden gevonden dankzij de steeds verbeterende kwantiteit en kwaliteit van gegevens, en door een steeds beter begrip van de ondergrond. Een mooi voorbeeld hiervan komt van noordoost Nederland. In 1988 werd in de Nederlandse Aardolie Maatschappij (NAM) een voorstel tot het doen van een exploratieboring geschreven. Deze boring zou het Grijpsperk-prospect in noordoost Nederland testen (figuur 3). Dit werd toen gezien als een van de laatste prospecten van dat gebied. De hoeveelheid aardgas die in noordoost Nederland was gevonden was sinds de zestiger jaren steeds minder geworden, en men dacht dat er niet veel meer te vinden zou zijn.

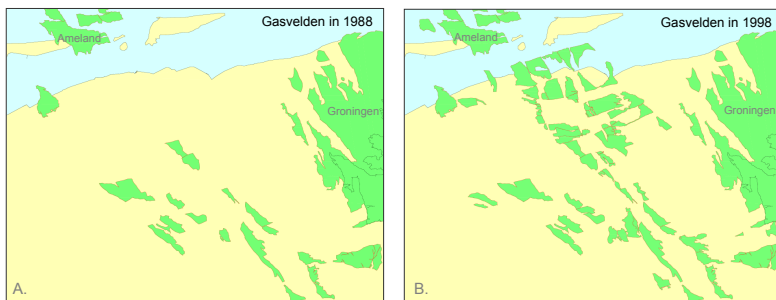


Gasvelden en prospecten  
in 1988  
(Grijpskerk well proposal)

**Fig. 3.** Na de vondst van het Groningen gasveld in 1959 liepen de volumes van nieuw gevonden gasvoorraden in noordoost Nederland sterk terug. In 1988 waren er maar nog maar een paar kleine prospecten over, waarvan Grijpskerk de grootste was (Bron: NAM).

Het Grijpskerk-prospect was dan ook niet erg groot. De boring was succesvol, en tot ieders verbazing bleek het nieuwe gasveld veel groter te zijn dan voorspeld. Nadat studies duidelijk hadden gemaakt hoe dat kon, leidde het nieuwe inzicht – ook geholpen door de grote hoeveelheid nieuwe gegevens in dat gebied (3-D seismiek) – tot het besef dat er nog veel meer aantrekkelijke prospecten in de onmiddellijke nabijheid waren. Vervolgens zijn ook die prospecten aangeboord, en men vond nog zo'n 140 miljard kubieke meter gas meer: aanzienlijk meer dan men voorheen voor mogelijk had gehouden (figuur 4). Weer bleek dat ons voorstellingsvermogen te kort was geschoten.

Hoeveel aardgas zal er nu nog te vinden zijn in Nederland? De trend van de laatste tien jaar geeft weinig aanleiding tot optimisme. Na 2001 is het volume van nieuwe gasvondsten per jaar sterk afgenomen (figuur 5). De laatste vier jaar is het nieuw gevonden gasvolume per jaar niet meer boven de vijf miljard kubieke meter per jaar uitgekomen: dat wil zeggen dat we per jaar slechts voor een paar weken binnenlandse consumptie

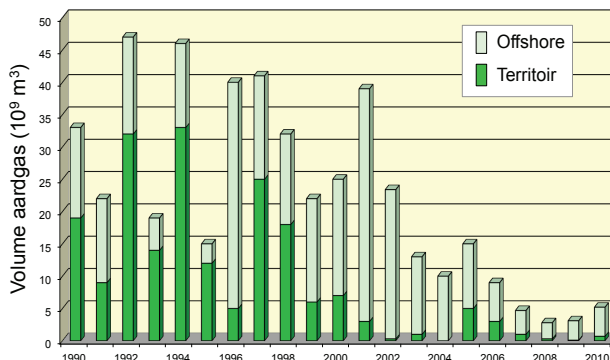


**Fig. 4. A)** De gasvelden in west Groningen en oost Friesland in 1988.

**B)** De gasvelden in west Groningen en oost Friesland in 1998.

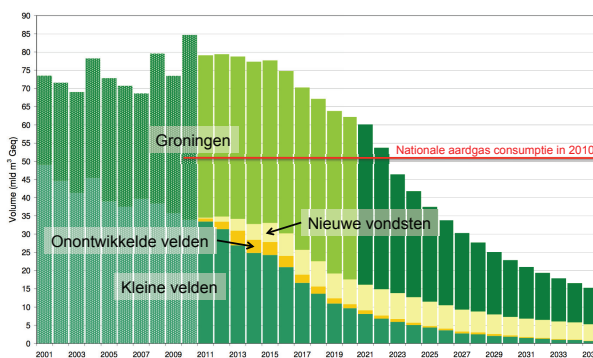
De ontdekte gasvoorraden in Grijpskerk waren aanmerkelijk groter dan verwacht. Dit leidde tot nieuwe inzichten, en sinds Grijpskerk is er nog 140 miljard m<sup>3</sup> gas gevonden in dit gebied, terwijl men daarvoor dacht dat het meeste wel gevonden was (bron: NAM).

**Fig. 5.** De gevonden aardgasvoorraden per jaar in Nederland. Na 2001 is er een sterke afname (gebaseerd op Ministerie van Economische zaken, 2011).



hebben gevonden. De voorspellingen van het Ministerie van Economische Zaken laten dan ook zien dat de gasproductie over een jaar of vijf zal beginnen te dalen. Volgens deze voorspellingen zal Nederland over een jaar of tien niet meer zelfvoorzienend zijn in aardgas (figuur 6). Om die trend te keren moeten er aanzienlijk veel meer exploratieboringen gedaan worden en grotere velden gevonden worden dan we in de laatste jaren hebben gezien. De petroleumindustrie lijkt echter van mening dat verreweg het meeste gas in Nederland nu wel al gevonden is, en toont weinig animo om veel meer te gaan boren. Even goed blijf ook ik hopen

**Fig. 6.** Het volume geproduceerd gas per jaar van 2001 t/m 2010 in Nederland, en de voorspelde volumes aardgas na 2010 (Ministerie van Economische zaken, 2011). Er wordt een sterke productieafname verwacht na 2015. Na 2022 zal er niet genoeg gas meer geproduceerd worden voor de binnenlandse consumptie.





op een positief verrassing met gasvondst waar ons huidige voorstellingsvermogen tekort voor schiet. Dat is in het verleden tenslotte ook enkele keren gebeurd, en daarin zit de romantiek van exploratie.

Eén zo'n voorheen ongedacht nieuw geologisch concept, en waar de laatste tijd is er vrij veel publiciteit over is geweest, is zogenaamd niet-conventioneel gas, en dan vooral schaliegas ('shale gas'). Er zijn enorme gasvolumes genoemd die er nog in Nederland te winnen zouden zijn. Ik kom later terug op dit niet-conventionele gas. Eerst wil ik kort uitleggen hoe een conventioneel olie- of gasveld eruit ziet.

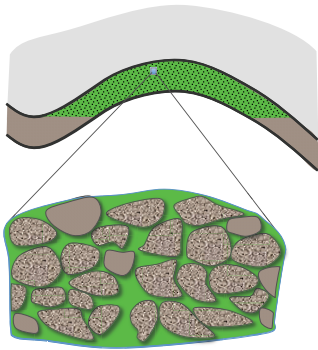
## **Conventionele olie- en gasvelden**

Wat moeten we ons bij conventionele olie- en gas velden voorstellen, wat is er voor nodig in de ondergrond en hoe vinden we ze?

Olie- en gasvelden hebben de volgende ingrediënten nodig (figuur 7):

1. Een **RESERVOIR**: dat is meestal zandsteen of kalksteen met voldoende ruimte tussen de korrels, de poriën, waarin de petroleum zich kan ophopen.
2. Een goede **AFDEKLAAG** bovenop het reservoir gesteente, zodat de petroleum niet naar boven weglekt. Het Engelse woord hiervoor is 'seal'. Normaal zit er water in de poriën van een potentieel reservoir. Zowel olie en gas zijn lichter zijn dan water en willen naar boven, naar het aardoppervlak. Als dat gebeurt zijn we het kwijt. Een goede impermeabele afdeklaag bovenop het reservoir gesteente voorkomt dat.

## Essentiële ingrediënten voor gas- en olievelden



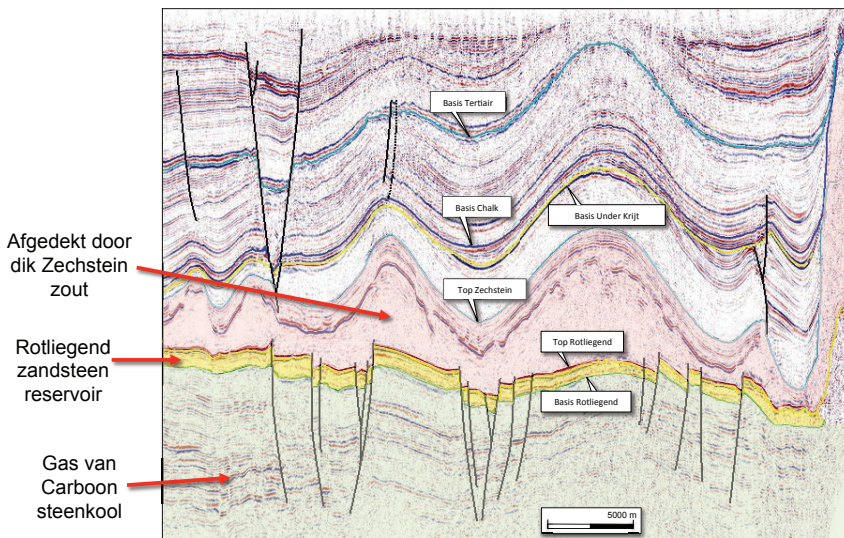
- Een goed **reservoir gesteente**
  - Bv zandsteen
  - Met voldoende porositeit (ruimte tussen de korrels)
- Een ondoorlaatbare **afdeklaag** bovenop het reservoir gesteente
  - Bv kleisteen
- Een **structuur**
  - Een plooi – als een omgekeerde kom
- **Olie of Gas**
  - Dat de ruimte van de poriën vult, en het water eruit drukt

Fig. 7. De essentiële ingrediënten voor olie en gasvelden: reservoir, afdeklaag, structuur en petroleum.

3. Ten derde is er een ondergrondse **STRUCTUUR** nodig. Dat kunt u zich voorstellen als een omgekeerde kom, waarin de petroleum zich kan verzamelen. Hoe groter die structuur hoe beter, want hoe meer olie of gas erin kan.
4. En tenslotte hebben we uiteraard **PETROLEUM** nodig. Olie en gas worden gegenereerd uit sedimenten met een voldoende hoog gehalte van organisch materiaal: een paar procent organisch materiaal is voldoende. Gesteentelagen die voldoende organisch materiaal bevatten noemen we in het Nederlands “olie of gas moedergesteenten”. Ik zal verder het Engelse woord ‘source rock’ gebruiken.

Het organische materiaal van een source rock kan steenkool zijn, dat op zijn beurt ontstaat uit boom- en plantenresten. Onder de juiste omstan-

digheden, in moerassige gebieden, veranderen afgestorven bomen en planten in veen. Als een veenlaag bedekt wordt door jongere sedimenten en gedurende de geologische tijd steeds dieper wordt begraven, verandert veen in steenkool onder de hogere temperatuur die er heerst in de ondergrond. Bij temperaturen hoger dan zo'n 80 graden Celsius, breken de grote en complexe organische bestanddelen af tot kleine gasmoleculen zoals methaan: het belangrijkste bestanddeel van aardgas. Ons Nederlandse aardgas komt uit steenkool van het geologische tijdperk het Carboon. In Zuid Limburg is die steenkool dicht onder het oppervlak en werd daar tot in de zestiger jaren van de vorige eeuw gemijnd. Onder grote delen van Nederland is het Carboon op dieptes van zo'n drie kilometer of meer, en daar is het warm genoeg om gas te genereren.



**Fig. 8.** Seismisch profiel door noordoost Nederland. Het Carboon met dikke koallagen is een uitstekende 'source rock' voor gas. Hierboven ligt een 200 meter dik pakket van poreuze zandsteen afgezet in een uitgestrekte woestijn. Dit reservoir is afgedekt door een dikke laag zout: een uitstekende impermeabele 'seal' (Bron: NAM).

Dat gas gaat omhoog, en komt in dikke zandlagen die ooit zijn afgezet in een uitgestrekte woestijn: het Rotliegend, een prachtig reservoir van wel 200 meter dik. Die zandlagen werden vervolgens overspoeld door zout zeewater in een zeer droog en heet klimaat. Die zee droogde in en liet uiteindelijk een dikke zoutlaag achter, bovenop dat mooie reservoir. Zout is de meest ondoorlaatbare seal die we ons kunnen wensen. In onze ondergrond hebben we dus een opeenvolging van koollagen die hun oorsprong vonden in equatoriale oerwouden, met daarbovenop zandlagen afgezet in een uitgestrekte woestijn en daarboven op een dikke zoutlaag afgezet door het indampen van een tropische zee (figuur 8). Dit is een ideale stapeling van source rock, reservoir en seal, en het is dan ook geen toeval dat we met het Groninger gasveld een van de allergrrootste gasvelden ter wereld hebben.

Gas komt vooral uit source rocks met organisch materiaal van plantenresten. Olie komt vooral uit organisch-rijke sedimenten die in zeeën zijn afgezet. Het organische materiaal daarin bestaat vooral uit microscopisch kleine planktonresten.

Het is nu de taak van exploratiegeologen in de petroleumindustrie om te voorspellen of al die ingrediënten (structuur, reservoir, seal en petroleum) aanwezig zijn, voordat we een dure exploratieboring beginnen. De waarschijnlijkheid van een succesvolle boring wordt uitgedrukt in een percentage. Een boring kan een 40% kans van succes hebben. Dat impliceert uiteraard dat er een 60% risico is dat de investering van misschien wel tientallen miljoenen dollars of meer geen nieuw olie of gasveld oplevert. Een 40% kans op succes is niet gek, en is niet ver van het wereldwijde percentage van succesvolle exploratieboringen. Er worden ook wel exploratieboringen gedaan met minder dan 20% kans op succes, en soms zelfs met een kans op succes van niet meer dan

10%. De petroleumindustrie accepteert die risico's, zolang de potentiële opbrengst dat rechtvaardigt. Als één nieuw petroleumveld op tien exploratieboringen meer oplevert dan de kosten van de 10 exploratieboringen, dan wordt er winst gemaakt. Het is dus erg belangrijk dat we de kans op succes op een verantwoorde manier inschatten. Daarnaast wordt er een voorspelling gemaakt van de grootte van het mogelijke olie- of gasveld. Dit soort voorspellingen kunnen alleen gedaan worden met voldoende kennis en begrip van de geologie. Daarbij baseren petroleumgeologen zich op gegevens van eerdere boringen, op seismische gegevens en interpretaties daarvan, op geologische concepten en op computermodellen waarin de ondergrondse condities en processen die zich daar afspelen worden gemodelleerd.

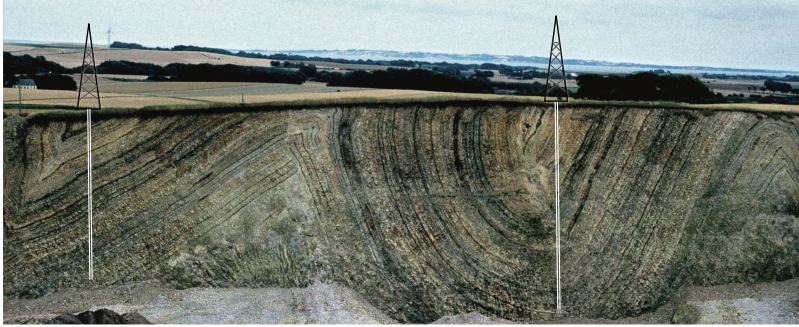
## **Hoe pakken voorspellingen over prospect volumes uit?**

De titel van deze oratie is ontleend aan een citaat dat wordt toegeschreven aan Niels Bohr, de Deense natuurkundige en Nobelprijswinnaar uit de vorige eeuw: "Prediction is very difficult..., especially about the future" – voorspellen is erg moeilijk, vooral over de toekomst. Welnu, dan zouden exploratiegeologen het betrekkelijk makkelijk moeten hebben, want die 'voorspellen' zaken die al vele miljoenen jaren geleden gebeurd zijn. De source rocks, reservoirs en seals die wij nodig hebben zijn miljoenen, tot soms wel honderden miljoenen jaren geleden al afgezet, en de structuren van olie- en gasvelden zijn ook al heel lang geleden gevormd. Toch weten exploratiegeologen dat onze voorspellingen niet altijd correct zijn. De verrassingen waar je als exploratiegeoloog mee geconfronteerd kan worden zijn waardevolle lessen in bescheidenheid. Ze herinneren ons eraan dat we vaak veel minder weten dan we hadden gedacht, of misschien is het beter te zeggen dat we minder weten dan we zouden willen weten.

"Zoals de meeste exploratie maatschappijen heeft ook BP de neiging om de potentiële <b>petroleum volumes</b> van exploratie prospecten te <b>overschatten</b> "	Francis Harper, BP, 1999
"In het verleden heeft Mobil <b>niet de voorspelde volumes gevonden ...</b> "	Mike Brown, ExxonMobil, 2000
"Het <b>petroleum volume</b> van 60% van de nieuwe vondsten was <b>lager</b> dan het minimum van de voorspellingen van voor de exploratie boring"	Kari Ofstad, Norwegian Petroleum Directorate, 2000
"Sub-optimale prestatie in het verleden... <b>overschatting</b> van de inkomsten, <b>onderschatting</b> van het risico"	Steve Begg, 2002
"Chronische <b>overschatting</b> van de belangrijkste geologische parameters"	Peter Rose, 2003

Fig. 9. Citaten van goed ingevoerde mensen in de petroleum industrie geven aan dat olie- en gasvolumes in prospecten regelmatig worden overschat.

Enkele citaten van goed ingevoerde mensen in de petroleumindustrie geven aan dat de voorspelde olie en gasvolumes in prospecten over het algemeen veel te optimistisch zijn (zie figuur 9). Hiervoor zijn verschillende redenen aan te voeren. Ten eerste is het zo dat zelfs in gebieden waar we de meeste en beste gegevens over de ondergrond hebben onze kennis nog steeds incompleet en oppervlakkig is. We gebruiken de gegevens van vorige boringen, maar dat zijn speldenprikken op zijn best enkele kilometers van elkaar. Een boring hier op het terrein van de VU en de volgende op de Dam – hoe zit het daartussen (figuur 10)? Behalve boorgegevens worden seismische data gebruikt. De reflecties van schokgolven in de ondergrond geven ons een beeld van de structuur tussen de boringen in (figuur 11). Seismische data zijn als een echogram van de ondergrond, en het vereist enige ervaring om die goed te interpreteren. Bovendien is het oplossend vermogen van die seismische data eigenlijk maar matig. Op een diepte van 2 of 3 kilometer onderscheiden we geologische lagen alleen als ze enkele tientallen meters dik zijn. Details die er soms wel toe doen kunnen we niet zien. Zelfs met de beste

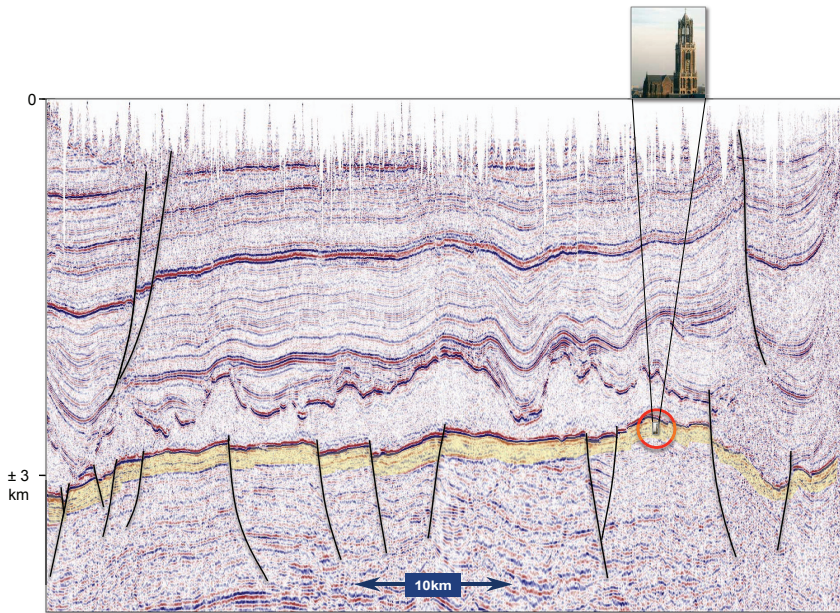


**Fig. 10.** De ondergrond kan zeer complex zijn, zoals fraai te zien op deze foto van een groeve in Denemarken (uit: Southern Permian Basin Atlas, 2010). Gegevens van boringen leveren een hoge dichtheid aan gegevens, maar dit zijn wel slechts speldenprikken vaak op kilometers uit elkaar. De structuren tussen de boringen moet op andere wijze duidelijk worden.

gegevens geeft seismiek eigenlijk niet meer dan een ruw laagresolutie beeld van de structuur van de ondergrond.

Als we na een boring moeten concluderen dat we het op sommige punten mis hadden, als we op een onaangename manier verrast worden door wat de boring aantreft, dan komt dat vaak omdat we aan bepaalde aspecten van de geologie onvoldoende waarde hebben gehecht. Vaak omdat we te veel inzoomde op het prospect, de structuur waarvan we hoopten dat het een nieuw petroleumveld zou zijn, en omdat we te weinig oog hadden voor de regionale geologische context. Een onverwacht resultaat kan vaak zonder veel problemen en vrij snel verklaard worden. Achteraf is het meestal niet zo moeilijk om te begrijpen wat er aan de hand was. In al die gevallen waarin het achteraf zo makkelijk was de aangetroffen geologie te verklaren hadden we daar natuurlijk vóór we de dure boring deden al aan moeten denken. Waarom doen we dat niet altijd? Dat komt omdat de gegevens waar men mee moet werken





**Fig 11.** Een seismisch profiel over het Groningen gasveld laat fraai de structuren in de ondergrond zien (breuken en plooien). De resolutie van seismiek op een diepte van enkele kilometers is zeer gering. Als de 112 meter hoge Domtoren van Utrecht op een diepte van 3 kilometer in de ondergrond lag, zou er niet veel van te zien zijn op een seismisch profiel (Bron: NAM).

onvolledig en vaak op meerdere manieren te interpreteren zijn. Daarnaast moet uit een veelheid van gegevens de relevante gegevens gekozen worden, en men moet besluiten wat het gewicht is van positieve dan wel negatieve aanwijzingen. De keuzes die daarbij gemaakt worden zijn afhankelijk van de achtergrond and ervaring van de exploratiegeoloog. Dit leidt onvermijdelijk tot enige subjectiviteit, hetgeen betekent dat wij meer dan bij een puur exacte wetenschap bloot staan aan vooroordelen, in het Engels ‘biases’, en andere vormen van vooringenomenheid:

1. **CONFIRMATION BIAS** (voorkeur voor bevestiging). Dit is de neiging voornamelijk te zoeken naar aanwijzingen die het voorkeursmodel



bevestigen, en dat ben ik vaak tegengekomen. In petroleum-exploratie is het voorkeursmodel altijd een succesvolle vondst van een nieuw olie of gasveld. Aanwijzingen die niet in overeenstemming zijn met zo'n succesvolle uitkomst worden soms te makkelijk terzijde geschoven als niet relevant. Deze neiging kan nog versterkt worden als men in de organisatie waar men werkt hoge verwachtingen heeft van het prospect waar aan gewerkt wordt, en vooral als dit de mening is van leidinggevend. De meeste mensen hebben de neiging niet tegen de mening van hun bazen in te willen gaan. Dit is een vorm van wat in het Engels 'motivational bias' wordt genoemd.

2. **ANCHORING.** De neiging om aan een vrij willekeurig, en soms nauwelijks ter zake doend gegeven teveel gewicht toe te kennen. Als bijvoorbeeld de laatste exploratieboring zeer succesvol was, heeft men snel de neiging om optimistischer te zijn over de volgende boring. Een bekende test, en een die ik vaak gedaan heb in cursussen, is om een groep mensen te vragen hoe groot de bevolking is in een of ander land. Als ik die vraag vooraf laat gaan door de vraag of men denkt dat de bevolking meer of minder is dan 100 miljoen mensen, is het gemiddelde van de antwoorden hoger dan als ik eerst vraag of het meer of minder is dan 10 miljoen. In situaties van onzekerheid heeft men de neiging waarde toe te kennen aan wat voor gegevens dan ook, ook al zijn die overduidelijk nergens op gebaseerd. Zo kan in exploratie een waarschijnlijk onschuldige bedoelde opmerking als "dit is een mooi prospect", het uiteindelijke oordeel al beïnvloeden.
3. **SELECTIEF DENKEN.** In exploratie werken we graag met analogieën. Als we een voorbeeld kunnen vinden dat lijkt op de situatie waar wij aan werken, dan geeft dat vertrouwen in het model. Exploratie-

geologen hebben een voorkeur voor voorbeelden die tot een mooi olie- of gasveld hebben geleid, terwijl er vaak tal van even relevante voorbeelden zijn die niet succesvol waren.

4. **ONREALISTISCH HOOG VERTROUWEN.** De meeste mensen houden niet van onzekerheden, en zijn niet goed in het inschatten van onzekerheden. Ook dit is al in vele tests gebleken. Als ik u bijvoorbeeld zou vragen hoe hoog deze aula is, en om met een hoog en laag getal een bereik aan te geven waarvan u voor 90% zeker bent dat de werkelijke hoogte daartussen zal vallen, dan geven soortgelijke tests aan dat bij meer dan de helft van u de werkelijke hoogte buiten uw aangegeven bereik zal vallen. Terwijl we eigenlijk zouden moeten verwachten dat bij 90% van u de werkelijke hoogte binnen het aangegeven bereik valt. Wij kunnen onzekerheden niet goed inschatten, en gecombineerd met confirmation bias leidt dit makkelijk tot te optimistische schattingen als het om prospecten gaat.

Er zijn collega's in de petroleumindustrie die beweren dat exploratiegeologen de volumes van prospecten helemaal niet overschatten. Zij beweren dat zodra er een nieuw veld is gevonden de volumes door pessimistische reservoir engineers en productiegeologen te laag worden beoordeeld. En dat na enkele jaren productie, met gegevens van meer productieboringen, de volumes langzaam stijgen tot het niveau waar men in exploratie altijd al zei dat ze moesten zijn. Ik moet toegeven dat ik ook wel eens een voorbeeld heb meegemaakt waar iets dergelijks gebeurde. Maar om te concluderen dat exploratievoorspellingen daarom ook gemiddeld correct zijn lijkt mij gebaseerd op niet meer dan anekdotische aanwijzingen en een geval van confirmation bias, of waarschijnlijk nog eerder motivational bias...

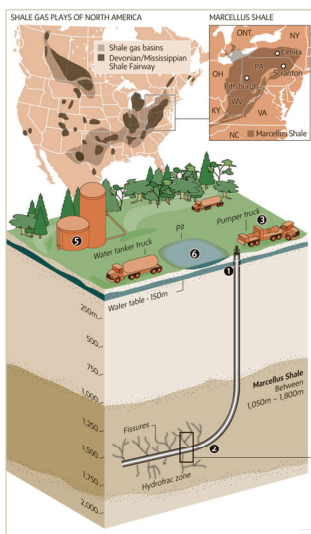
Ik denk geen moment dat exploratiegeologen de enigen zijn die vooringenomen ideeën hebben. In alle wetenschappen waar met incomplete gegevens wordt gewerkt, en waar geïnterpreteerd moet worden zal dit zo nu en dan het geval zijn. In de exploratiegeologie zijn we in de gelukkige omstandigheid dat onze voorspellingen vaak al snel getest worden met een boring. Daardoor zijn we in staat te leren. De complexiteit van het klimaat is mogelijk nog groter dan de complexiteit van geologie en petroleumsystemen. Doordat men in discussies over opwarming van de aarde al snel in het ene of andere kamp wordt ingedeeld, wordt de discussie over klimaatverandering niet geholpen. Al die vooringenomenheden waar ik het over had worden versterkt in zo'n situatie, en het doen van onpartijdige wetenschap wordt er bijzonder door gehinderd.

Snel terug naar petroleumgeologie. Wat kunnen we eraan doen om onze oordeel niet of in ieder geval minder te laten beïnvloeden door vooroordelen en andere vormen van vooringenomenheid? Het is van belang zo lang mogelijk verschillende hypothesen te overwegen; niet alleen het voorkeursmodel van een nieuw olie- of gasveld. Dit vereist discipline: omdat de mens niet van onzekerheid houdt vindt hij het in het algemeen veel aantrekkelijker slechts één model te overwegen. Bovendien is dat makkelijker en minder werk. In sommige overduidelijke gevallen zal dit ook voldoende zijn. Daarbij kan het nuttig zijn zich serieus af te vragen hoe het te verklaren zou zijn als de boring tegen de verwachtingen in bijvoorbeeld geen reservoir of geen seal zou aantreffen. Dit andere perspectief kan tot een realistischer inschatting van de risico's leiden.

## Schaliegas (shale gas)

Ik heb het zogenaamde niet-conventionele gas al genoemd, en ook dat men wel zegt dat niet-conventioneel gas tot een revolutie in de aanvoer van aardgas heeft geleid. Tegelijkertijd is er ongerustheid over deze vorm van fossiele energie. Kan dit wel gewonnen worden zonder de omgeving op een onverantwoorde manier aan te tasten? Er zijn verschillende vormen van niet-conventioneel gas; ik zal het nu alleen over de belangrijkste hebben: schaliegas of in het Engels 'shale gas'.

Het belangrijkste verschil met gewone, conventionele gasvelden is dat schaliegas niet in mooi poreus reservoir zit. Het gas zit in een laag die we normaal beschouwen als 'source rock' (moedergesteente voor olie) of als seal (afdeklaag). Het gaat om het gas dat onder hoge temperaturen



1. Een boring tot in de kleisteen laag
2. Dan wordt het boorgat horizontaal gestuurd
3. "Pumper trucks" injecteren water, zand en chemicaliën met hoge druk door het boorgat in de Shale, om breuken te maken
4. De zand korrels houden de breuken open, zo dat gas makkelijker naar het boorgat kan stromen
5. Het gas wordt opgeslagen in tanks, en gaat dan via een pijplijn naar de markt
6. Het geproduceerde water wordt afgevoerd en verwerkt

**Fig. 12.** Schematische voorstelling van het boren naar en 'fraccen' van een schalielaag met aardgas (bron: Statoil). Fraccen is een technologie die ook wordt gebruikt voor de stimulatie van gewone aardgasreservoirs: ook in Nederland.

van het organisch materiaal in deze lagen is gegenereerd, en dat er nog steeds in zit. Veel van het gegenereerde gas is uit deze source rock lagen gemigreerd, maar tegelijkertijd blijft er ook veel achter. Net zoals conventionele velden enkele essentiële ingrediënten nodig hebben (reservoir, seal, structuur en petroleum) hebben niet-conventionele gasvoorkomens dat ook. De laag moet voldoende dik zijn (enkele tientallen meters), het moet diep genoeg geweest zijn om gas te genereren (meer dan vier of vijf kilometer diep), en dan moet het bij voorkeur weer omhooggekomen zijn zodat we het zonder al te hoge kosten kunnen aanboren.

Omdat schalie een echt beroerd reservoir gesteente is, waarin het gas praktisch niet wil stromen, heeft het flink wat hulp nodig. Daartoe maakt men kunstmatig breukjes in de schalielaag, zodat het gas door die breukjes naar het boorgat kan stromen, en geproduceerd kan worden. Het proces is beschreven op figuur 12. Over dit zogenaamde 'fraccen' is veel te doen. Het proces heeft veel water nodig, zou vervuiling van het grondwater veroorzaken en men gebruikt chemicaliën. Het enige wat ik daarover wil zeggen dat 'fraccen' niet een nieuwe technologie is. De technologie wordt al zeer lang gebruikt, ook in conventionele gasvelden als het reservoir niet erg goed is. Ook in onze streken, zonder dat er enige vervuiling van het grondwater mee gepaard gaat. De commotie in de pers is niet altijd op veel kennis gebaseerd.

In Noord-Amerika is er de laatste decennia steeds meer van dit niet-conventionele gas geproduceerd. Zoveel zelfs dat er een overaanbod van gas is waardoor de gasprijzen omlaag gegaan zijn. Dit is de revolutie in de gasaanvoer waar de heer Voser van Shell het over had. Elders in de wereld is men nu druk aan het zoeken: ook in Nederland, waar een exploratieboring naar schaliegas is gepland. Hoeveel van dit niet-

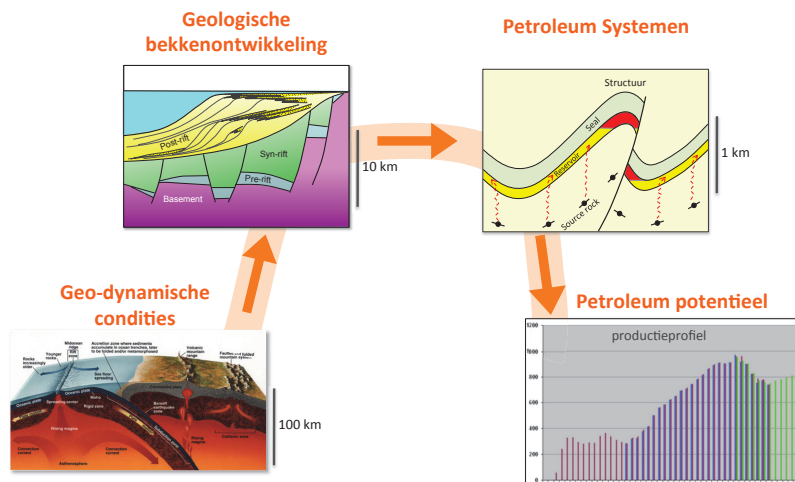
conventionele aardgas zouden wij in Nederland hebben? Twee jaar geleden rapporteerden alle kranten en journaals dat we mogelijk nog wel 100 of 200 maal meer gas hadden dan er tot dan toe was gevonden. Dat zouden ongelooflijk hoge gasvolumes zijn. Gelukkig zijn deze voorspellingen bijgesteld. Energie Beheer Nederland schrijft nu in de publicatie “Focus on Dutch Gas” dat de totale hoeveelheid gas van “moeilijke reservoirs” in Nederland in de orde van grote is van enkele honderden miljarden kubieke meters. Dit is nog steeds vrij aanzienlijk. Een andere mening is van Professor Herber en mijzelf, vorig jaar gepubliceerd, waarin we zeggen dat de mogelijke voorraden waarschijnlijk in de orde van enkele tientallen miljarden kubieke meters zijn, tot hoogstens 200 miljard kubieke meter gas, oftewel goed voor niet meer dan op zijn hoogst enkele jaren binnenlandse consumptie. Deze lagere voorspelling is niet het gevolg van een meer pessimistische aard, hij is gebaseerd op onze waarnemingen dat er slechts zeer lokaal in Nederland wordt voldaan aan de geologische condities (de essentiële voorwaarden) die nodig zijn voor commercieel produceerbare niet-conventionele aardgas voorraden.

## **Conclusies**

Ik hoop duidelijk gemaakt te hebben dat het voorspellen van nog onontdekte volumes van olie en gas niet altijd makkelijk is. Ik heb niet de indruk willen wekken dat voorspellingen door petroleumgeologen normaal gesproken niet meer dan een wilde optimistische gok zijn. Er wordt veel kwalitatief hoogstaand werk gedaan in de petroleum-industrie, en om dat van dichtbij te hebben kunnen zien was een voorrecht.

Maar soms zitten we er goed naast met onze voorspellingen, en soms was dat te voorkomen geweest. Voorspellingen over petroleum potentieel moeten gebaseerd zijn op:

- wetenschappelijk verantwoorde creativiteit, niet op onverantwoord optimisme;
- alle relevante gegevens en technologieën die ons ter beschikking staan, en niet op een selectie van gegevens die goed uitkomen;
- het overwegen van meerdere scenario's, en niet op slechts één voorkeursscenario waaraan men te gehecht is geraakt;
- geologische modellen die in overeenstemming zijn met de regionale geologie en bekkenontwikkeling, niet met aandacht alleen voor het prospect.



**Fig. 13.** Betrouwbare voorspellingen over petroleum potentieel moeten zijn gebaseerd op een uitstekend begrip van de geo-dynamische condities die tot de vorming van geologische bekkens hebben geleid. Dit is nodig voor een zinvolle voorspelling van het voorkomen van 'source rocks', reservoirs, en 'seals' in gebieden met nog weinig directe aanwijzingen voor hun aanwezigheid.

Bij de aanvaarding van zijn professoraat, tien jaar geleden, sprak Harry Doust over het belang van een goede kennis van de regionale geologie voor het doen van goede petroleumgeologie. Ik wil daar graag de komende jaren op doorwerken. Uiteindelijk is het zo dat het voorkomen van olie- en gasvelden een direct gevolg is van de geologische geschiedenis van bekkens waar source rocks, reservoirs en seals zijn afgezet, en waar structuren zijn gevormd: er zit een natuurlijke logica in (figuur 13). Een betere kennis van de geodynamische condities waaronder geologische bekkens zich hebben gevormd moet uiteindelijk leiden tot een beter inzicht in waar nog olie en gas te vinden zijn. Het identificeren van nieuwe petroleumprovincies, gebieden waar tot nu toe niet veel gevonden is, noemde ik aan het begin van deze presentatie de hoofdprijs voor een exploratiegeoloog. Ik wil in de nabije toekomst vooral kijken naar verschillen in petroleumpotentieel in bekkens en gebieden die er op het eerste gezicht gelijksoortig uitzien. Ik heb de hoop dat dit soort onderzoek kan leiden tot betere voorspellingen over het petroleumpotentieel in gebieden waar nog niet veel exploratie is gedaan.

De sectie tektoniek van de VU heeft een grote en welverdiende reputatie op het gebied van bekkenontwikkeling en de numerieke en analoge modellering daarvan: deze vakgroep wordt gezien als een wereldleider in dit veld. De komende jaren hoop ik van de expertise van deze vakgroep gebruik te kunnen maken. Ook voor een toegepaste wetenschap als petroleumgeologie geldt dat het erg belangrijk is een sterke binding te hebben met hoogwaardig en fundamenteel onderzoek. Ik ben daarom dankbaar voor deze positie in deze vakgroep gevraagd te zijn. Ook al vanwege de connectie met de toponderzoekschool ISES (Integrated Solid Earth Sciences). Daarnaast zijn er een goede en nuttige samenwerkingsverbanden, onder andere via andere bijzondere leerstoelen,



met TNO, de Technische Universiteit Delft en IFP (Institut Francais du Petrol).

Ik wil daarbij nog wel zeggen dat het fundamentele onderzoek in bekkenontwikkeling hand in hand moet gaan met geologisch veldonderzoek. Ondanks alle technologieën die we tegenwoordig hebben is het mijn ervaring dat geologie nergens zo goed wordt geleerd en begrepen als in het veld.

Het is niet gebruikelijk om in je 61ste levensjaar nog een met een nieuwe carrière te beginnen. Maar ik doe dat met veel plezier in dit vak waar ik veel passie voor voel. Een positie als deze is eigenlijk altijd een sluimerende ambitie van mij geweest. Ik weet me in goed gezelschap: mijn voorgangers, Harry Doust en Roel Murris, hebben dit hoogleraarschap ook vervuld na hun loopbaan bij Shell, en ik ben er trots op dat ik in hun voetsporen mag treden. Petroleumgeologie is een apart vak. Het is niet zoals de meer exacte disciplines waar de grootste ontdekkingen vooral worden gedaan door jonge wetenschappers. Petroleumgeologie is een vak waar niet alleen een jonge creatieve en speelse geest belangrijk is: ook ervaring speelt een grote rol. Dat vind ik nu ik hier zo sta wel een bemoedigende gedachte.

Ik zal proberen de hoge standaard van Harry Doust in de laatste tien jaar voort te zetten. Dat zal niet eenvoudig zijn, maar ik ga mijn best doen. Ik kijk uit naar de voortzetting van mijn contacten met de studenten, en ik zal proberen mijn fascinatie over de ondergrond op hen over te brengen. Als ik bij mijn studenten de nieuwsgierigheid kan prikkelen om verder uit te zoeken hoe dat nu allemaal zit daar onder onze voeten en hoe het zo gekomen is, dan ben ik tevreden: dat is mijn streven.

Ik ben aan het slot van mijn rede beland en daarmee bij mijn dankwoord. Ik wil iedereen bedanken die op enigerwijze heeft bijgedragen aan het feit dat ik hier nu sta. In het bijzonder wil ik enkele mensen en instanties bij naam noemen:

Allereerst dank ik de Rector Magnificus, het College van Bestuur van de Vrije Universiteit, en de decaan Bauke Oudega voor deze eervolle benoeming.

Mijn dank gaat ook uit naar Sierd Cloetingh voor het in mij gestelde vertrouwen, ik zal mijn best doen dit vertrouwen niet te beschamen.

Ik dank Shell, waar ik 31 jaar lang met erg veel plezier heb gewerkt en waar ik ontzettend veel heb gezien en geleerd, en die nu deze positie financieel ondersteunt.

Harry Doust, jij ben niet alleen mijn voorganger op de VU, in wiens voetsporen ik nu treed, jij hebt mij lang geleden ook op mijn eerste schreden in Shell begeleid. Ik heb me altijd gelukkig geprijsd met jou als mentor en goede vriend. Jij bent degene die mij heeft voorgesteld voor deze positie; mijn hartelijke dank hiervoor.

*Ik heb gezegd.*